

doi: 103969/j.issn.0490-6756.2017.03.034

# MaxEnt 模型下的外来入侵种香丝草 在中国的潜在分布区预测

谢登峰, 童 芬, 杨丽娟, 何兴金

(四川大学生命科学学院生物资源与生态环境教育部重点实验室, 成都 610064)

**摘要:** 本研究基于生态位模型(MaxEnt),在大量已有居群分布点数据的基础上对香丝草(*Conyza bonariensis*)在中国的潜在分布区域进行了预测.结果表明:最冷季度平均温度、年均温、最冷月最低温、最干季度平均温度、干月降水量和最干季度降水量这6个环境因子对香丝草分布预测的影响最大;除新疆、青海、内蒙古、宁夏、黑龙江、吉林和辽宁省之外,其他地区均被预测为香丝草的适生区.目前,香丝草的潜在入侵区仍大于实际分布区,因此,预测该物种还将会进一步扩散;四川西部、云南南部、陕西北部、山东西北部、山西北部 and 甘肃及河北的大部分地区非常靠近已经被入侵的区域,应引起相关机构的重视,防止其进一步入侵.

**关键词:** 香丝草; 生态位模拟; 入侵植物; 分布; 预测

**中图分类号:** Q151      **文献标识码:** A      **文章编号:** 0490-6756(2017)02-0423-06

## Potential distributions of an invasive species *Conyza bonariensis* (Compositae) in China as predicted by MaxEnt

XIE Deng-Feng, TONG Fen, YANG Li-Juan, HE Xing-Jin

(Key Laboratory of Bio-Resources and Eco-Environment of Ministry of Education,  
College of Life Sciences, Sichuan University, Chengdu 610064, China)

**Abstract:** Maximum Entropy (MaxEnt) ecological niche modeling was applied to predict potential range of *Conyza bonariensis* (L.) Crong in China on the basis of occurrence points. The results indicated that environmental parameters such as Mean temperature of the coldest quarter, Annual mean temperature, Min temperature of the coldest month, Mean temperature of the driest quarter, Precipitation of the driest month and Precipitation of the driest quarter largely influenced the distribution of *Conyza bonariensis*. Most Chinese provinces excluding Xinjiang, Qinghai, Inner Mongolia, Ningxia, Heilongjiang, Jilin and Liaoning are predicted the suitable habitat of *Conyza bonariensis*. Areas that we predict to have potential invasion were larger than that had been invaded. Therefore, *Conyza bonariensis* is predicted to continue to expand in China. West Sichuan, south Yunnan, north Shanxi, northwest Shandong, north Shanxi and most regions of Gansu and Hebei have not been occupied, but these areas are very close to the areas that have been invaded, so intense attention should be given to strengthen the management of these areas to prevent *Conyza bonariensis* from further spreading.

**Keywords:** *Conyza bonariensis*; MaxEnt model; Invasive alien plant; Distribution area; Predict

收稿日期: 2016-01-29

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(31470009, 31270241, 31570198); 国家标本平台教学标本子平台资助

作者简介: 谢登峰(1990-),男,硕士研究生,主要从事植物分类和系统进化生物学研究. E-mail: xiedengfeng222@126.com

通讯作者: 何兴金. E-mail: xjhe@scu.edu.cn

## 1 引言

香丝草 [*Conyza bonariensis* (L.) Crong.] 为菊科 (Compositae) 白酒草属 (*Conyza*) 植物, 又称野塘蒿、野地黄菊或蓑衣草。常生于田边和路边, 是一种常见的一年生或二年生荒地杂草<sup>[1]</sup>。香丝草原产于南美洲, 现已广泛分布于热带及亚热带地区。我国于 1857 年首次在香港采集到其标本, 到目前为止, 香丝草作为一种外来入侵植物, 已经扩散到江苏、江西、河南、福建、台湾、湖北、湖南、广西、四川、贵州、云南等地<sup>[2,3]</sup>。香丝草具有线状披针形瘦果, 大量的果实能够借助冠毛随风传播<sup>[4]</sup>, 由于其较强的环境适应力、突出的繁殖能力及显著的化感作用, 常形成较大规模的入侵种群成片出现在路边或荒地, 对本地的物种形成了巨大的生存挑战。尤其是其作为一种棉铃虫的中间寄主, 对一些秋收作物的生长产生了较为严重的影响<sup>[5]</sup>。

作为一种入侵物种, 前人对香丝草的研究主要集中在其化感作用、生理生态特性和化学成分等方面。调查发现香丝草单株种子产量可以达到百万粒, 并且具有较高的萌发率, 短暂的萌发时间以及种子轻小等生物学特性, 可以保持其种群经久不衰。同时, 香丝草具有较宽的温度幅, 在中温和较低温度下都可以生长和繁殖, 它的种子含水量高且萌发快, 在 pH4~10 的范围内都可以较好的生长, 对环境的耐受性特别强<sup>[4]</sup>。此外, 香丝草植株中含有的甾醇类物质和萜类物质对植物的种子活力、根长和苗高有明显的抑制作用<sup>[4,6-8]</sup>。香丝草能产生水溶性的酚类物质, 其酸度比醇类高, 易凝固蛋白质, 对植物的生长极为不利<sup>[9]</sup>, 这也是其能够成功入侵并形成危害的主要原因之一。但是, 到目前为止对其在全国的分布情况和与之分布相关的气候环境因子却鲜见报道。因此, 十分必要对香丝草在中国的潜在分布区进行预测, 以帮助有关部门制定合理的防治措施, 防止它在更大范围内扩散并造成危害。

最大熵理论 (MaxEnt) 最初是由 Jaynes 于 1957 年提出, 是根据不完全信息做出推断或预测, 应用广泛, 并于 2004 年应用到物种的潜在分布区预测上<sup>[10]</sup>。该模型不仅稳定性较好 (AUC 值变化平缓), 而且预测的结果与实际分布的一致性较高 (平均 AUC 值最大), 既被广泛用于预测独叶草、川贝母和高山杨梅等濒危物种潜在分布和适宜性评价研究中<sup>[11-13]</sup>, 也被用于预测加拿大一枝花、薇

甘菊、喜旱莲子草等入侵物种未来可能入侵的区域研究<sup>[14-16]</sup>。本文以香丝草在世界范围内, 尤其是中国范围内目前的分布数据为基础, 在最大熵模型 (MaxEnt) 基础上, 对香丝草在中国的地理分布进行了预测分析, 得到香丝草在中国的适生区范围, 为香丝草的预警、监控、预防提供依据。

## 2 材料和方法

### 2.1 研究对象

2.1.1 香丝草数据 对于香丝草的数据分布我们通过三种方法获取: 1) 利用中国数字植物标本馆 (<http://www.cvh.org.cn/>) 收集 13 所科研机构标本馆的标本记录, 调取了国家自然资源平台教学标本平台 (<http://mnh.scu.edu.cn/>) 34 所高校标本馆的标本数据。2) 查询世界多样性信息机构 (Global biodiversity information facility, GBIF) 的记录, 最终得到 24 个标本馆的可用标本记录。3) 查询相关报道和文献记录, 并通过 Google earth 查询出相应记录点的经纬度。通过 3 种途径共得到野生的分布记录点 2719 个, 删除无效记录点和重复记录点后最终得到国内有效记录点 581 个。

2.1.2 相关地理数据与环境变量 选用来自于中国基础地理信息系统 (<http://nfgis.nsd.gov.cn/>) 的分辨率为 1:400 万的中国行政区划图作为分析底图。环境变量数据来自于 Berkeley 大学 Worldclim 下载中心<sup>[17,18]</sup> 中的 19 个生物气候变量 (bio01-bio19) 和一个海拔变量 (alt), 选取当前条件下的空间分辨率为 2.5 arc-minutes。19 个环境变量表示的意义见表 1。

### 2.2 研究方法

2.2.1 数据处理 香丝草的分布数据以物种+经度+纬度的形式输入 EXCEL 中, 中间用逗号分隔并保存为 (\* . csv) 格式。根据中国地图对调取的 Worldclim 的气候数据进行格式转换、影像的配准、裁剪和叠加。

2.2.2 模型运行 在离散型 (Categorical) 变量模式的基础上, 采用刀切法选项评价各环境因子的权重并制作回应曲线 (create response curves)。参照 Roberto 等<sup>[19]</sup> 研究的参数选择, 本研究中设定 25% 的分布点为测试集 (test data), 用于预测结果的自校验, 其余 75% 为训练集 (Training Data), 构建香丝草潜在适生区分布的最大熵模型, 并采用 Maxent 模型的受试者工作特征曲线 (Receiver Operating Characteristic Curve, 简称 ROC 曲线)

下面积 AUC 值评估模型模拟的准确性, 设定模型运算次数为 500 次, 进行 10 次重复运算, 其余选项采用模型默认的设置。

表 1 本文所用环境变量

Tab. 1 Environmental variables used in the study

变量	描述
bio 01	年均温
bio 02	昼夜温差月均值
bio 03	等温性
bio 04	温度季节性变化的标准差
bio 05	最暖月最高温
bio 06	最冷月最低温
bio 07	年均温变化范围
bio 08	最湿季度平均温度
bio 09	最干季度平均温度
bio 10	最暖季度平均温度
bio 11	最冷季度平均温度
bio 12	年均降水量
bio 13	最湿月降水量
bio 14	干月降水量
bio 15	降水量变异系数
bio 16	最湿季度降水量
bio 17	最干季度降水量
bio 18	最暖季度降水量
bio 19	最冷季度降水量
alt	海拔

2.2.3 模型预测结果评价 ROC 曲线面积 0.5~1.0, 一般认为, AUC 值即 ROC 曲线下面积 (area under curve) 在 0.5~0.7 时, 表明模型诊断价值较低, ROC 值在 0.7~0.9 时模型诊断价值中等, 当 >0.9 时则表明诊断价值最高<sup>[20]</sup>。

2.2.4 环境因子权重分析 利用刀切法得出每个环境因子的贡献率及训练得分, 从而分析评价影响香丝草适生区分布的主要环境因子。在分析时依次排除一个因子, 用剩余的因子建立模型 (浅灰色条带表示), 观察这个模型 (深灰色条带) 与所有因子之间存在的模型 (黑色条带) 之间的变化, 如果变化大, 说明排除的那个因子含有很重要的信息, 反之则有用信息少<sup>[16]</sup>。

### 3 结果与分析

#### 3.1 香丝草在中国的潜在适生区等级划分

将整理到的香丝草的标本信息数据和分布点环境数据导入 MaxEnt, 运行后的受试者工作特征曲线结果显示, 训练值和测试值的 AUC 值大于 0.

9(图 1), 表明该 MaxEnt 模型的诊断价值很高, 预测的结果较为准确。借助 MaxEnt 模型的预测方法以及相关的适生区等级划分方式<sup>[11,15,21]</sup>, 我们将预测图划分为 5 个等级, 非适生区 (0.00~0.18), 低适生区 (0.18~0.37), 中适生区 (0.37~0.55), 高适生区 (0.55~0.74) 和最佳适生区 (0.74~1.00)。从图 2 可以看出中国的所有分布点全部在适生区预测范围内, 说明模型的预测具有一定的可靠性。香丝草在中国的适生区范围非常广泛, 主要集中在中南部地区。除新疆、青海、内蒙古、宁夏、黑龙江、吉林和辽宁外, 其他省份均有香丝草的分布。其中, 最佳适生区分布在河南北部、广东沿海地区和台湾北部; 河南中北部、湖北北部、重庆西部、四川南部、山东南部、江西西南部、广西东北部、广东北部及福建沿海区域都是其高适生区; 除四川西部、云南南部、陕西北部、山西北部、山东西北部和甘肃及河北的大部分地区外, 其余皆为中低适生区。MaxEnt 模型预测中国西藏地区也有香丝草的分布, 原因可能是中国西藏邻近印度, 而西藏部分地区与印度气候相似, 适宜香丝草的生存。

训练值(AUC=0.953) ■ 测试值(AUC=0.931) ■ 随机预测(AUC=0.5) ■

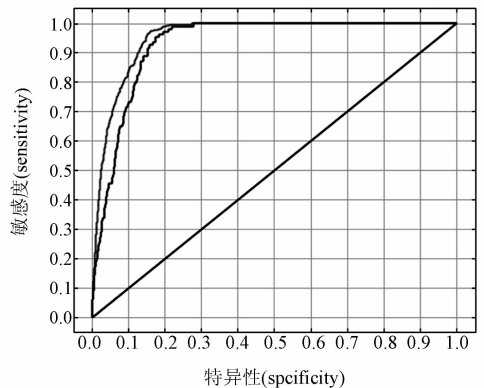


图 1 MaxEnt 模型应用 ROC 分析法检验预测结果  
Fig. 1 Prediction validation with ROC curve in Max-Ent modeling

#### 3.2 影响香丝草分布的环境因子分析

利用刀切法, 我们可以得出不同环境因子在影响香丝草分布中所占的比重。由图 3 中预测得到的规范训练结果, 我们可以得出测试得分最高的前 6 项依次为最冷季度平均温度 (bio11)、年均温 (bio01)、最冷月最低温 (bio06)、最干季度平均温度 (bio09)、干月降水量 (bio14)、最干季度降水量 (bio17), 可以认为这 6 项因子是影响香丝草分布的主导气候因子, 相关的结果也通过图 4 中这些环境因子对模型的反应曲线得到体现。

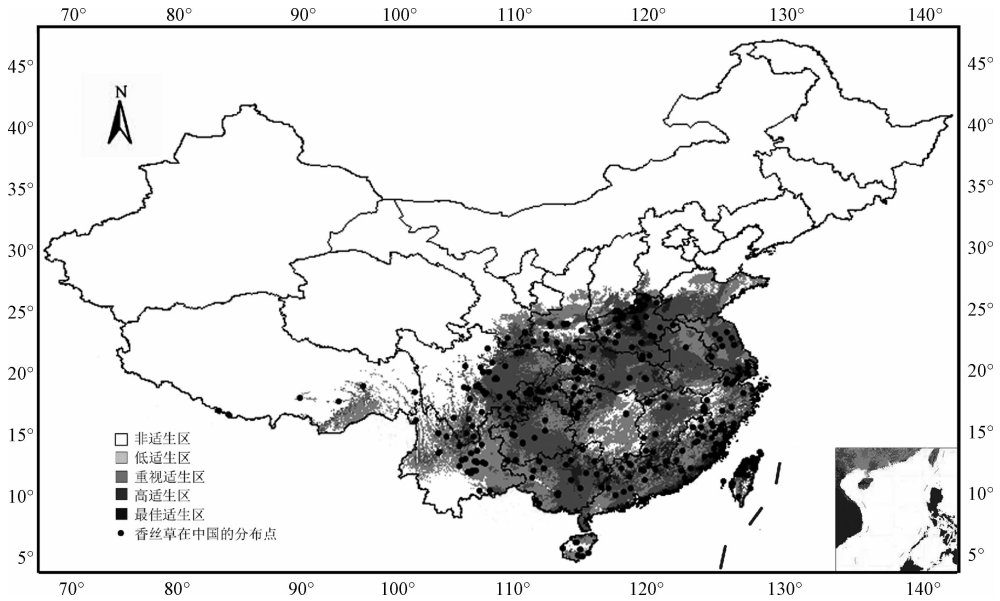


图 2 MaxEnt 模型预测香丝草在我国的适生区分布图

Fig. 2 Potential range prediction for *Conyza bonariensis* applied MaxEnt ecological niche model

## 4 讨论

根据标本记录和文献报道所得的数据,借助 MaxEnt 模型我们得到了香丝草(*Conyza bonariensis*)在中国的潜在分布区.可以看出,香丝草适于生长在热带亚热带地区,目前分布在中国的适生区范围小于我们预测到的适生区范围,因此,香丝草具有继续扩散的空间和可能.此外,香丝草大都生长在低海拔的地区,在高海拔的地区很少见到.其生长力极强,不受任何植被型的影响,北纬  $37^{\circ}$  以下省份均为香丝草容易形成大规模扩散的区域.目前,四川西部、云南南部、陕西北部、山西北部、山东西北部和甘肃及河北的大部分地区尚未遭到香丝草的入侵,但是这些地区非常靠近已经被入侵的区域,应给以特别关注,加强这些地区的管理,防止香丝草在这些地区大规模扩散.新疆、青海、内蒙古、宁夏、黑龙江、吉林和辽宁被预测为香丝草的非适生区,这些地区相对较为安全,即使有零星的香丝草植株出现,也难以形成大规模的入侵.

如图 3 所示,我们得到了 19 个环境因子对香丝草适生区的影响程度,其中降水和温度对香丝草分布预测的影响较大.尽管香丝草对水分的耐受性强,既可以在极其干旱的环境中生长,又可以适应潮湿的生长环境,并且香丝草种子含水量高且萌发快,在 PH4-10 的范围内都可以较好的生长,对环境的耐受性特别强<sup>[4]</sup>,但是,长时间的降水或干旱则会严重影响香丝草的生长和繁殖.此外,香丝草开花的时间

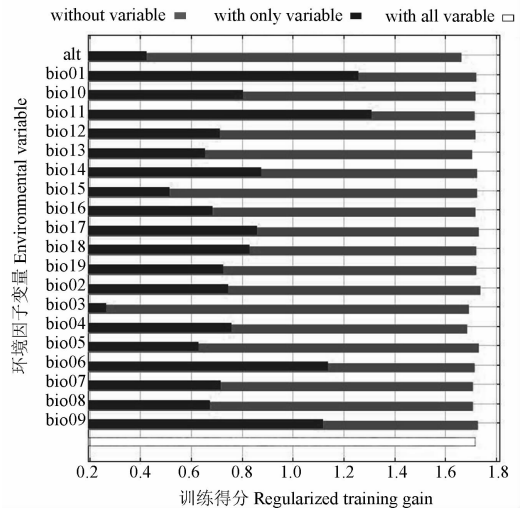


图 3 环境变量对香丝草预测结果的影响

Fig. 3 Effect of environmental variables on prediction result of *Conyza bonariensis*

间为 5 月到 10 月,这一时期气候适宜,而 11 月后较冷的天气则会严重影响甚至降低植株的结实率,从而导致香丝草次年的出苗率显著降低.尽管如此,香丝草对热带及亚热带地区的环境有较强的适应性<sup>[2]</sup>,其有性生殖产生的种子量很大,产生的瘦果线状披针形,能够借助冠毛随风扩散,蔓延极快.通过考察、查阅标本得出香丝草可以在 0-3000m 的海拔范围内生长,但是 98% 的香丝草植株均生长在 2000m 以下的海拔范围内,通常生长在田间、路旁和弃耕地等.对于新疆、青海、内蒙及东北省区等地区而言,降水和温度对香丝草的分布有很大的影响,

如图 4 所示各降水和温度下的反应曲线, 干季的降水量和最冷季节平均温度及最冷月最低温度等在很大程度上影响着香丝草的生长, 从而无法扩散, 并且这些地区降水相对较少, 干季降水则更少, 不利于香丝草的生长. 但是, 对于北方部分地区仍有香丝草的分布(例如甘肃、陕西和河南), 由此可见温度对香丝草分布的影响相对比较复杂, 杨丽娟等人的研究结果<sup>[4]</sup>表明香丝草具有较宽的温度幅, 适合在中温或

较低的温度下生长繁殖, 并对极高温和极低温有较强的抗逆性, 这可能是香丝草能在我国北方部分地区越冬存活的重要原因. 而南方大部分地区则十分适合香丝草的生长, 是其最容易入侵的地区. 以上反应的结果可以在香丝草的防治中加以利用, 比如在温度较高的 6~7 月份, 可以对海拔较低的路边、果园和农地进行重点治理, 在温度较低的季节最好进行人工拔除和清理.

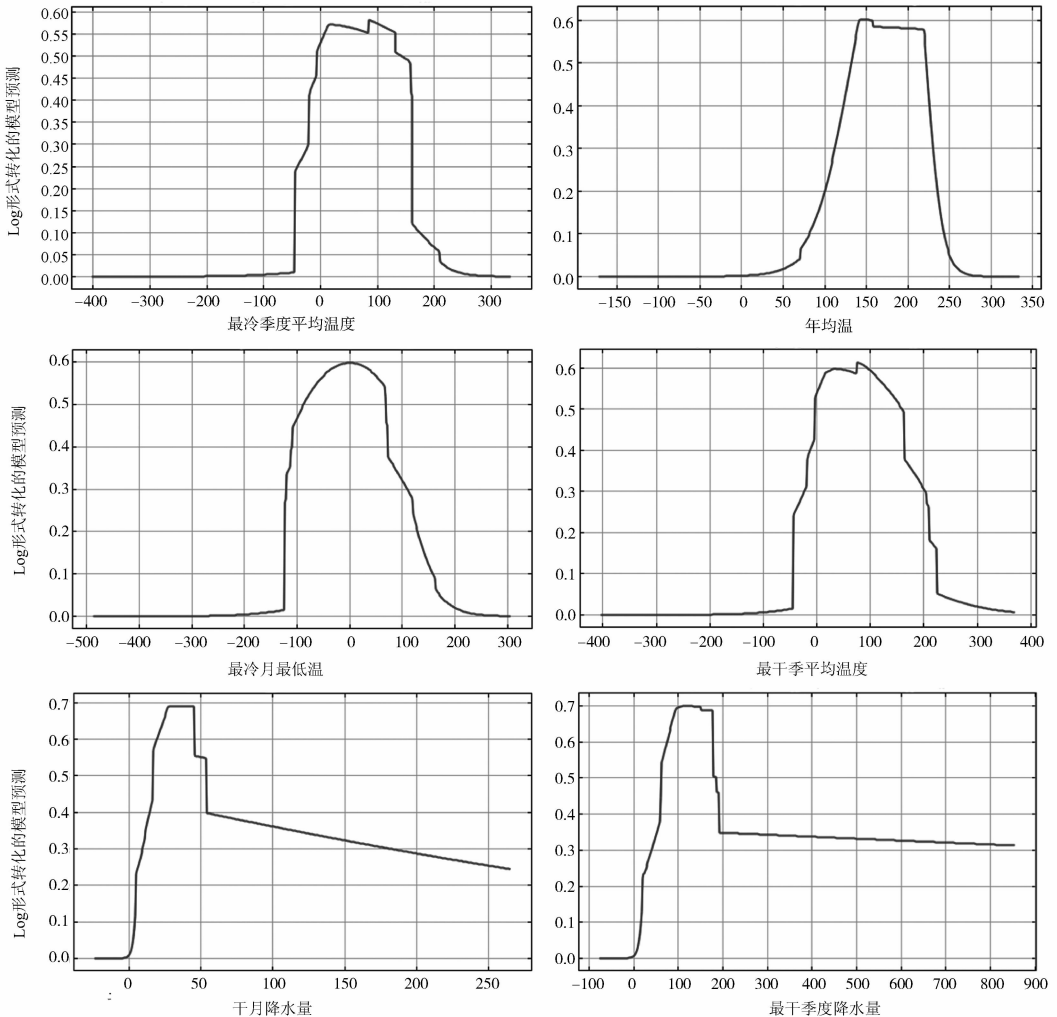


图 4 环境因子对模型的反应曲线

Fig. 4 Response curves of environment factors for model prediction

通过本文的研究我们预测到, 香丝草主要分布在我国华南、华东、华中、西南的大部分地区, 并且和入侵植物紫茎泽兰类似<sup>[22]</sup>, 香丝草生长在人类活动较为频繁的地区, 比如农田、路边、果园等, 这给当地农作物的生长及生物多样性的保护带来了巨大的危害. 预测中还显示出香丝草的地理分布还没有达到其潜在分布的最大范围, 也就是说香丝草

还有继续扩散的趋势; 一旦其扩散到这些区域, 除了对当地的生态环境以及经济造成巨大的损失外, 最重要的是入侵后将很难进行治理而将其根除. 因此, 有关部门应该高度重视预测图中香丝草的高风险适生区域, 应采取相应的检疫等有效措施积极对其进行防范, 对风险较小的地区也应该提高警惕, 着重预防, 以防其造成更大的危害.

## 参考文献:

- [1] 中国植物志编委会. 中国植物志[M]. 北京: 科学出版社, 1985: 350.
- [2] 万方浩, 郑小波, 郭建英. 重要农林入侵物种的生物学特征及其防治[M]. 北京: 科学出版社, 2005: 231.
- [3] 李振宇, 解焱. 中国外来入侵物种[M]. 北京: 中国林业出版社, 2002.
- [4] 杨丽娟, 梁乾隆, 何兴金. 入侵植物香丝草水浸提液对蚕豆和玉米根尖染色体行为的影响[J]. 西北植物学报, 2013, 33(11): 2172.
- [5] 杨德, 刘光华, 肖长明, 等. 重庆农业入侵种植物的鉴定与防治[J]. 江西农业学报, 2011, 23(3): 93.
- [6] 刘荷芬, 樊金献, 侯双. 香丝草对几种杂草的化感作用的研究[J]. 河南科技学院学报, 2008, 36(1): 14.
- [7] 刘明久, 许桂芳, 姜辉. 入侵植物香丝草化感作用的生物测定[J]. 河南农业科学, 2008, 6: 71.
- [8] 成向荣, 王伟, 史华伟, 等. 也门与中国产香丝草挥发油化学成分分析和比较[J]. 现代生物医学进展, 2013, 13(36): 7034.
- [9] 汪小兰. 有机化学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1979: 113.
- [10] Steven J P, Miroslav D, Robert E S. A maximum entropy approach to species distribution modeling [C]. Proceedings of 21st International Conference on Machine Learning, 2004.
- [11] 徐军, 曹博, 白成科. 基于 MaxEnt 濒危植物独叶草的中国潜在适生分布区预测[J]. 生态学杂志, 2015, 34(12): 3354.
- [12] 王娟娟, 曹博, 白成科, 等. 基于 Maxent 和 Arc-GIS 预测川贝母潜在分布及适宜性评价[J]. 植物研究, 2014, 34(5): 642.
- [13] Kumar S, Stohlgren J. Maxent modeling for predicting suitable habitat for threatened and endangered tree *Canacomyrica monticola* in New Caledonia[J]. J Ecol Natural Environ, 2009, 1(4): 94.
- [14] 余岩, 陈立立, 何兴金. 基于 GARP 的加拿大一枝黄花在中国的分布区预测[J]. 云南植物研究, 2009, 31(1): 57.
- [15] 张海娟, 陈勇, 黄烈健, 等. 基于生态位模型的徽甘菊在中国适生区的预测[J]. 农业工程学报, 2011, 27(13): 413.
- [16] 陈立立, 余岩, 何兴金. 喜旱莲子草在中国的入侵和扩散动态及其潜在分布区预测[J]. 生物多样性, 2008, 16(6): 578.
- [17] Hijmans R J, Cameron S E, Parra J L, et al. The WorldClim Interpolated Global Terrestrial Climate Surfaces. Version 1. 3 [DB/OL]. <http://biogeoberkeley.edu>, 2004.
- [18] Weng E S, Zang G. Modeling distribution changes of vegetation in China under future climate change [J]. Environ Model Assess, 2006, 11(1): 45.
- [19] Roberto M, Zamora R, Molina J R, et al. Predictive modeling of microhabitats for endemic birds in south Chilean temperate forests using maximum entropy (Maxent)[J]. Ecol Inform, 2011, 6(6): 364.
- [20] Swets J A. 1988. Measuring the accuracy of diagnostic systems[J]. Science, 1988, 240(4857): 1285.
- [21] 蔡菁, 陈放, 王胜华. 生物燃料植物麻疯树适生区预测[J]. 四川大学学报: 自然科学版, 2012, 49(1): 239.
- [22] 陈诚, 赵珂, 李小林, 等. 镍矿区紫茎泽兰根际及内生细菌多样性研究[J]. 四川大学学报: 自然科学版, 2015, 52(6): 1388.